

人员出入口核材料放射性监测装置 计算机数据采集和处理系统的研制

张文良

(中国原子能科学研究院 放射化学研究所, 北京 102413)

摘要:研究了人员出入口核材料放射性监测装置中计算机数据采集和检测方法, 内容涉及系统组成、序贯概率比检测方法、程序设计等。

关键词:出入口; 核材料监测装置; 数据采集和处理

中图分类号: TL75⁺1; TP274

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2000)05-0464-05

人员出入口核材料放射性监测装置主要用于监测核设施、核材料持有单位的人员通过出入口时是否非法携带铀、钚等特种核材料(SNM)。本监测装置采用射线探测法和金属探测法。核材料铀、钚发出的较强射线用NaI(Tl)射线探测器探测。采用屏蔽方式非法携带的铀、钚核材料用金属探测器来检测金属屏蔽物。

1 监测装置

监测系统组成示于图1。

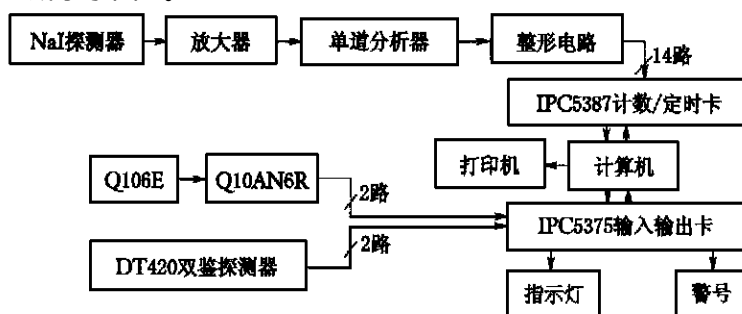


图1 出入口核材料放射性检测系统原理图

Fig. 1 Structure diagram of pedestrian portal SNM monitor

收稿日期:1999-06-15;修回日期:2000-03-06

作者简介:张文良(1972—),男,北京人,研究实习员,计算机专业

本监测装置采用北京核仪器厂生产的 NaI(Tl) 射线探测器,由 14 个 ST101 型 $\phi 75\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的 NaI(Tl) 晶体作探头。

NaI(Tl) 晶体配有光电倍增管和前置放大器,前置放大器输出的模拟信号经主放大器放大后送至单道分析器,单道分析器对信号进行分析。单道输出的脉冲信号经单稳态电路展宽后,输入 IPC5387 计数/定时板的输入端。输入信号经过光电隔离后送至可编程计数器/定时器 8253 的时钟输入端,通过编程控制 8253 对输入的脉冲信号计数。由计算机实现定时采集数据,实时对所采集的数据进行计算和显示,根据计算结果作出判断,确定是否发出报警信号。若报警,计算机通过 IPC5375 功放输出板控制检测门上的报警指示灯点亮并发出声音报警。

采用两对 Q106E/Q10AN6R 型主动红外对射开关和两个 DT420 红外微波双鉴探测器来自动检测人员的出入情况。当有人员通过检测门时,红外微波双鉴探测器或红外对射开关发出触发信号,计算机将按照预置参数自动对人员进行检测。

2 检测方法

采用序贯概率比检测法^[1]、数字滤波检测法、移动平均检测法^[2]对通过检测门的人员进行检测,作出是否携带铀、钚核材料的判断,并与等待方式的检验方法进行比较。

当计算机读出的计数显著高于正常本底计数时,监测装置发出报警。在存在天然本底辐射情况下,探测来自核材料的辐射涉及到报警阈值的选择,它应接近正常本底水平,但又不能太接近,以致引起大量的噪扰报警。

检测信号计数与由平均本底计数求出的报警阈值相比较,平均本底计数通过大量的时间间隔内的计数进行确定,它处在不断累积、更新和平均的动态中。一般情况下,检测信号计数只在占据时间内被累积,每次都要更新,并同报警阈值相比较,计数超过报警阈值则发出报警。

2.1 本底计算

本底的平均值 M_0 为: $M_0 = \frac{1}{n_b} \sum_{i=1}^{n_b} X_i$, 本底的标准偏差为: $s = \sqrt{\frac{1}{n_b - 1} \sum_{i=1}^{n_b} (X_i - M_0)^2}$ 。其中: X_i 为每次本底的测量值; n_b 为本底测量次数(本工作设定 $n_b = 300$)。

2.2 等待方式检测方法

等待方式检测 n 次,测量的平均值为: $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ 。若 $\bar{S} > M_0 + \frac{s}{\sqrt{n}}$, 则确定通过人员携带有铀、钚核材料,发出报警;若 $\bar{S} < M_0 - \frac{s}{\sqrt{n}}$, 则允许通行。其中: Y_i 为每次检测时的测量值; s 为正态分布的置信系数(本工作设定 $s = 4$)。

2.3 行走方式检测方法

(1) 序贯概率比检测法

序贯概率比检测法的本底阈值 ALB 和报警阈值 ALA 分别为:

$$ALB = \ln(1 / (1 - \alpha))$$

$$ALA = \ln((1 - \beta) / \beta)$$

其中: α 为弃真错误概率(第一种错误的概率),这里, α 即为期望的误报警概率; β 为采伪错误概率(第二种错误的概率),这里, $1 - \beta$ 即为探测概率。

检测值的计算公式为:

$$Z_i = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - M_0)^2 - (Y_i - M_1)^2}{2s^2}$$

其中, $M_1 = M_0 + 2\sqrt{M_0}$ 为检测间隔的报警阈值, 将 M_1 代入上式后简化为:

$$Z_i = \sum_{i=1}^n \frac{2\sqrt{M_0}(Y_i - M_0 - \sqrt{M_0})}{s^2}$$

当 $n = 2$ 时, 如果 $Z_i > ALA$, 则认为通过人员带有铀、钚核材料并发出报警; 当 $n = 3$ 时, 如果 $Z_i < ALB$, 则认为通过人员未携带铀、钚核材料; 如果 $ALA \leq Z_i \leq ALB$, 则不能确定通过人员是否携带铀、钚核材料, 需要继续检测。

序贯概率比检测法能够快速地对通过检测门的人员进行检测, 检测装置允许通过人员以正常步速 (1.2 m/s) 通过检测门。

(2) 数字滤波检测法

数字滤波检测法的报警阈值 $ALF = M_0 + 1.54\sqrt{M_0}$ 。

检测值为上一次的检测值乘以 0.75 再加上本次测量值乘以 0.25。公式为:

$$D_i = 0.75 D_{i-1} + 0.25 Y_i$$

其中: 当 $i = 1$ 时, $D_i = Y_i$; 当 $i = 3$ 时, 如果 $D_i \geq ALF$, 则认为通过人员带有铀、钚核材料并发出报警, 否则, 再进行下一次检测。

(3) 移动平均检测法

移动平均检测法的报警阈值 $ALM = M_0 + 2\sqrt{M_0}$ 。

检测值为最近 4 次测量值的平均: $M_i = (Y_i + Y_{i-1} + Y_{i-2} + Y_{i-3})/4$ 。

当 $i = 4$ 时, 如果 $M_i \geq ALM$, 则确定通过人员携带有铀、钚核材料并发出报警, 否则, 再进行下一次检测。

3 程序设计

3.1 检测程序

检测程序的流程图示于图 2。

检测开始, 首先测量本底。本底测量结束后对人员进行检测。为了能快速作出判断, 计算机每隔 0.2 s 采集一次数据, 每次计算采用的本底值均为最近的 300 次本底均值。若无人员通过, 本底则予以更新, 以避免本底变化对监测的影响。本底检测后, 对通过人员进行检测。人员通过检测门时, 红外对射开关或双鉴探测器发出触发信号, 计算机以预置检测方法对通过人员进行自动检测并判断是否发出报警。

人员以行走方式进入检测门时, 计算机对通过人员进行检测; 通过人员离开检测门时, 计算机停止进行检测。在此方式下, 只要通过人员未离开检测门, 计算机将一直对其进行检测, 直到离开为止。

在等待方式下, 通过人员需在检测门中心位置等待一段时间, 只有当预置的检测时间结束并未发出报警时, 方允许通过人员离开。

3.2 接口程序

开始检测时, 程序首先初始化 IPC5387 板上的计数器/定时器 8253 和中断控制器 8259A^[3], 而后, 循环等待板内 8259A 产生中断。利用板内一个 8253 作定时器, 它在初始化后 0.2 s 向板内 8259A 发一次定时信号, 板内 8259A 中断控制器则向 PC 机内 8259A 发出中断请

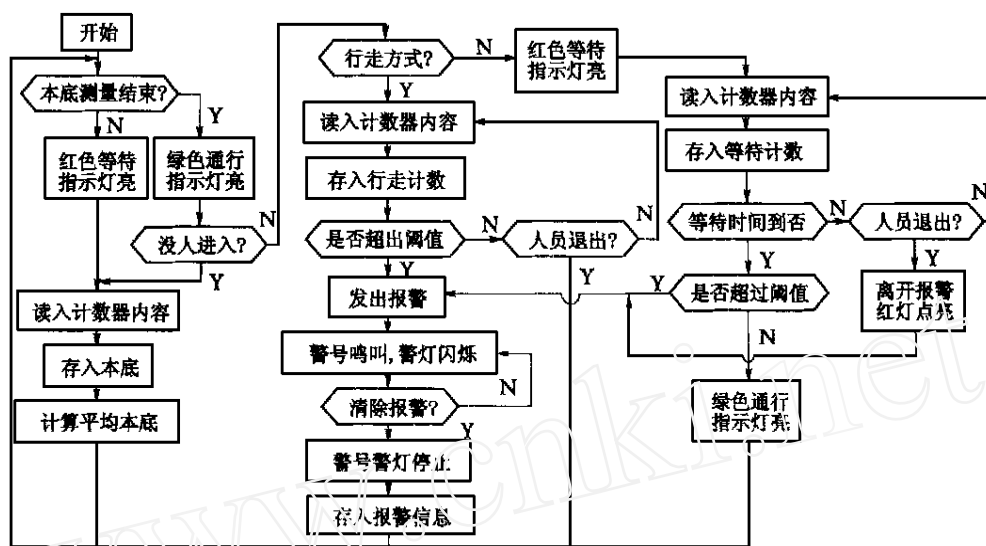


图2 出入口核材料放射性检测系统流程图

Fig. 2 Block diagram of the program for pedestrian portal SNM monitor

求。中断发生后,计算机执行中断处理程序。中断处理程序读出计数器的内容并立即写入初值以开始下一次定时和计数。在退出中断处理程序后,由主程序对读出数据进行计算、显示、判断和报警等操作。

数据采集所用的 IPC5387 板是康拓公司生产的一种通用的 CMOS 化的 TTL 电平兼容的计数/定时板,板上有 4 片可编程的高速计数器/定时器芯片 8253,提供 12 路 16 位定时通道。利用 interrupt 类型函数编写对数据进行采集的中断处理程序。将读计数器部分编写成中断函数形式,通过改写中断服务程序实现定时中断读取数据。

控制指示灯所用的 IPC5375 板是康拓公司生产的带光电耦合器件的数字量输入/输出板,它具有较强的输出驱动能力,可直接驱动指示灯。该板还接收红外对射开关和红外微波双鉴探测器发出的信号。

3.3 程序特点

采用 Borland C++ 3.1 编程,为加快程序的执行速度,中断处理函数全部采用嵌入式汇编语言编程。程序为汉字图形用户界面,下拉式菜单,弹出式窗口,鼠标和键盘操作。

程序的主菜单包括:(1) 文件管理,可查看以前的检测数据和打印报警信息;(2) 参数预置,可对检测所需的参数进行预置;(3) 硬件测试,可对指示灯等进行测试,以了解线路是否正常;(4) 实时检测,实现对出入人员进行检测。

硬件测试部分可检查各指示灯是否正常,操作者可以控制指示灯点亮和熄灭。实时检测时,在信息显示窗口显示指示灯的状态和预置的参数等信息。检测过程中,计算机随时检查线路状态是否正常,如果发生异常,程序将给出提示信息,以帮助操作人员查找原因。计算机随时检查安装在检测门上的防拆开关状态是否正常,若未经允许打开监测装置的门,计算机将发出报警。

目前,整个系统已研制成功并应用到监测装置中。另外,对等待方式的检测法、序贯概率比检测法、数字滤波检测法、移动平均检测法进行了检验,检验结果表明:这几种检测方法均能迅速、准确地对通过人员进行检测。

感谢中国原子能科学研究院放射化学研究所黄德宝高级工程师对本工作的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 利 人. 统计推断理论基础及其应用[M]. 贵州:群众出版社,1982. 324 ~ 330.
- [2] Fehlau PE. Comparing a Recursive Digital Filter With the Moving-average and Sequential Probability-ratio Detection Methods for SNM Portal Monitor[J]. IEEE Trans Nucl Sci,1993,40(2):143 ~ 146.
- [3] 张坤藏. IBM PC/ XT 微型计算机接口技术[M]. 北京:清华大学出版社,1991. 57 ~ 78.

Design of Data Acquisition System for Pedestrian Portal Special Nuclear Materials Monitor

ZHANG Wen-liang

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-48, Beijing 102413, China)

Abstract: The paper introduces the hardware structure and composition of data acquisition and monitoring system for pedestrian portal special nuclear materials (SNM) monitor. The sequential probability-ratio test (SPRT) detection method and features of software are also discussed.

Key words: portal; SNM monitor; data acquisition